ENTERTAINMENT COMPUTING

UNIVERSITÄT DUISBURG ESSEN

*Offen im Denken*

# Gesture-based Virtual Reality Interaction Design

## Entwicklung und empirische Validierung handgestenbasierter Interaktionskonzepte in VR Applikationen


Stefan Liszio, Maic Masuch

Universität Duisburg-Essen
Fakultät für Ingenieurwissenschaften
Abteilung für Informatik und Angewandte Kognitionswissenschaft

Lehrstuhl für Medieninformatik | Entertainment Computing


Duisburg, Juli 2016

# Inhalt

1. Einleitung ... 3
2. Konzeptentwicklung ... 4
2.1. Konzeption des ersten Gestenpakets ... 4
2.2. Konzeption des zweiten Gestenpakets ... 7
3. Empirische Validierung des Konzepts (Evaluation) ... 11
3.1. Methodik ... 11
3.1.1. Testumgebung ... 11
3.1.2. Studiendesign ... 13
3.2. Technische Einschränkungen ... 13
3.3. Ergebnisse ... 14
3.3.1. Demografie und Kontrollvariablen ... 14
3.3.2. Erlernbarkeit ... 17
3.3.3. Qualitative Analyse der Virtual Reality Experience ... 27
3.3.4. Präsenzerleben ... 28
4. Bewertung des Leap Motion Treibers „Orion“ ... 31
5. Fazit ... 32
Kontakt ... 34

# 1. Einleitung

Das Jahr 2016 markiert einen Meilenstein in der Entwicklung und Verbreitung von modernen Virtual Reality (VR)-Systemen. Die nötige Hardware im Sinne von speziellen VR-Brillen, den sogenannten Head-mounted Displays (HMD), erreicht nicht nur eine bisher nicht dagewesene technische Güte, sondern auch ein Preisniveau, welches die Anschaffung für Privatanwender und kleinere Unternehmen möglich macht. Daraus resultiert eine zunehmende Verbreitung der Technologie und neue Geschäftskonzepte können entstehen. Wenngleich VR grundsätzlich keine völlig neuartige Technologie darstellt, besteht insbesondere im Bereich der VR-Softwareentwicklung noch großer Forschungsbedarf. VR ermöglicht dem Anwender eine natürliche Interaktion mit den dargestellten, virtuellen Welten als wären diese real. Um eine solche naturgetreue Interaktion zu realisieren, wurde im Rahmen des Forschungsprojekts „Gesture-based Virtual Reality Interaction Design“ das Potenzial von Technologien zur Steuerung von Software durch Handgesten in Verbindung mit VR-Systemen untersucht. Dazu wurde eine Oculus Rift VR-Brille mit dem Handgestensensor Leap Motion ausgestattet. Auf diese Weise ist es möglich, die Hände des Benutzers in der virtuellen Welt darzustellen und diese direkt mit den Händen zu manipulieren. Im Besonderen galt es, verschiedene Interaktionskonzepte aufbauend auf Handgesten für dieses technische Szenario zu entwickeln und zu evaluieren. In zwei Iterationsschritten wurden für verschiedene Funktionen einer VR-Produktivsoftware unterschiedliche Gesten- und Menükonzepte entworfen und in einer Testumgebung mit Probanden auf Praktikabilität, Natürlichkeit, Erlernbarkeit und Virtual Reality Experience (VRX) geprüft.

Der vorliegende Bericht stellt die Zusammenfassung der Ergebnisse des einjährigen Projekts dar und skizziert den chronologischen Verlauf der Forschungsarbeiten. Er gibt eine detaillierte Beschreibung der entwickelten Gesten sowie einen Überblick über die Ergebnisse zweier Evaluationsstudien. Die Erkenntnisse aus unserer Projektarbeit können einen Startpunkt für Entwickler und Forscher darstellen und das hier präsentierte Vorgehen als Blaupause für die Durchführung weiterer nutzerzentrierter und empirischer Arbeiten im VR-Interaktionsdesign dienen.

# 2. Konzeptentwicklung

## 2.1. Konzeption des ersten Gestenpakets

In der ersten Projektphase wurden insgesamt fünf Gesten für zentrale Bedienfunktionen der Software designt und prototypisch implementiert. Der folgende Abschnitt erläutert kurz die Funktion der jeweiligen Geste sowie ihre Ausführung.

**1. Kontextmenü öffnen („Clench")**

Ein wichtiger Bestandteil des Interaktionskonzepts ist die Gestaltung des Kontextmenüs. Nicht alle Funktionen der Software können auf spezifische Gesten abgebildet werden, da ansonsten eine Überforderung des Benutzers riskiert würde. Weiterhin ist die Anzahl möglicher Gesten endlich und die Erlernbarkeit selbiger muss sichergestellt werden. Daher sollten komplexere, abstrakte oder sehr selten verwendete Funktionen in ein entsprechendes Menü ausgelagert werden. Zunächst wurde daher ein Konzept für ein Radial- oder Ringmenü aufgestellt (Abb. 1), welches mit der sogenannten „Clench"-Geste aufgerufen werden kann (Abb. 2). Dazu muss der Benutzer zunächst die Hand zu einer Faust ballen und anschließend zügig öffnen. Die Handfläche ist dabei nach vorne/oben gerichtet. Das Ringmenü erscheint anschließend über der Handfläche schwebend und folgt dieser bei Bewegungen. Mit dem ausgestreckten Zeigefinger der anderen Hand können entsprechend die Optionen des Menüs ausgewählt werden. Die zugrundeliegende Idee war es, möglichst viele Ebenen des Menüs im virtuellen Raum effizient abbilden zu können und gleichzeitig die nötigen Bewegungswege bei der Zeigefingerinteraktion so kurz wie möglich zu halten.

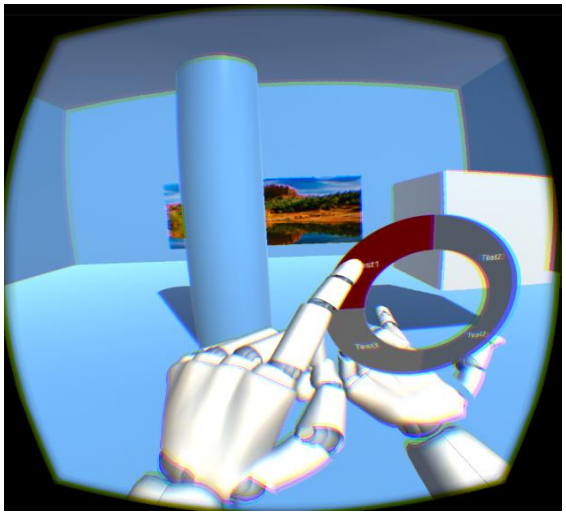

*Abbildung 1.* Bedienen des Kontextmenüs.

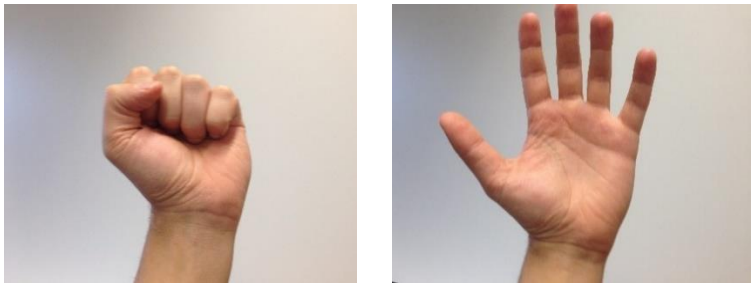

*Abbildung 2.* Ausführung der „Clench"-Geste.

## 2. Objekte auswählen / selektieren („Tap")

Die zweite entworfene Geste dient zur Auswahl, bzw. Selektion virtueller Objekte. Sie ist angelehnt an die Bewegung beim Klicken der Maustaste. Der Benutzer muss den Zeigefinger ausstrecken, während er die anderen Finger angelegt lässt, um auf das jeweilige Objekt zu zeigen. Anschließend wird eine Abwärtsbewegung des Zeigefingers ausgeführt.

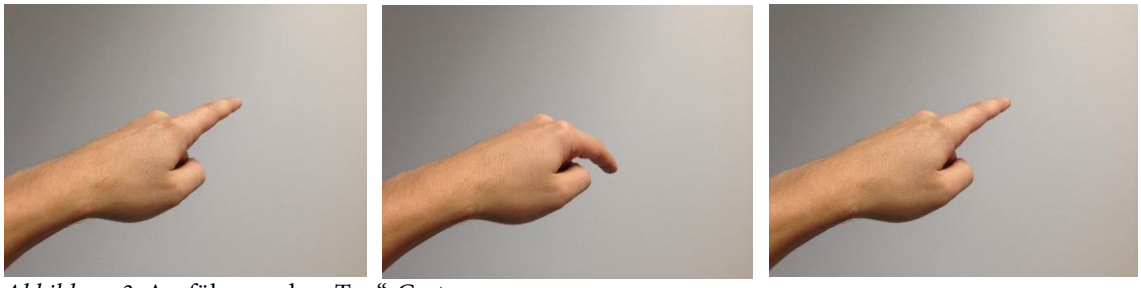

*Abbildung 3.* Ausführung der „Tap"-Geste.

## 3. Objekte vergrößern („Zoom in")

Das Vergrößern virtueller Objekte, beziehungsweise das Zoomen von Bildern wird abgebildet auf eine zweihändige Geste. Dazu muss der Benutzer die Hände so zusammenführen, dass sich die Spitzen der Zeigefinger und Daumen berühren. Werden die Hände anschließend auseinander bewegt, wird das jeweilige Objekt analog dazu vergrößert.

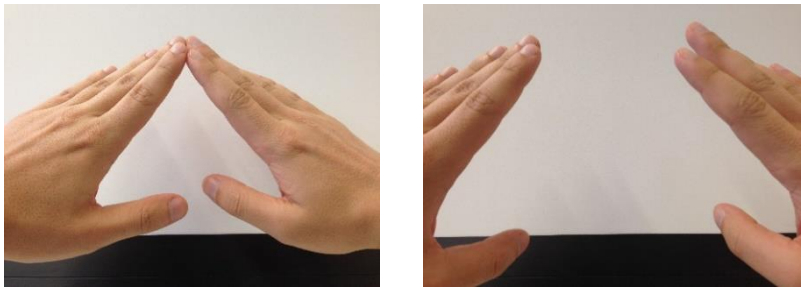

*Abbildung 4.* Ausführung der „Zoom"-Geste.

## 4. Objekte verschieben / weiterschalten („Swipe“)

Eine in anderen Kontexten durchaus etablierte Geste ist die des „Swipe“. Diese wird üblicherweise, und so auch hier, dazu verwendet, um Elemente weiterzuschalten oder „durchzublättern“ (z.B. Bilder in einer Slideshow). Alternativ kann so auch zwischen Screens gewechselt werden. Dazu wird einfach mit der flachen Hand eine schnelle horizontale Wischbewegung ausgeführt. Beide Richtungen (nach links und nach rechts) sind möglich.

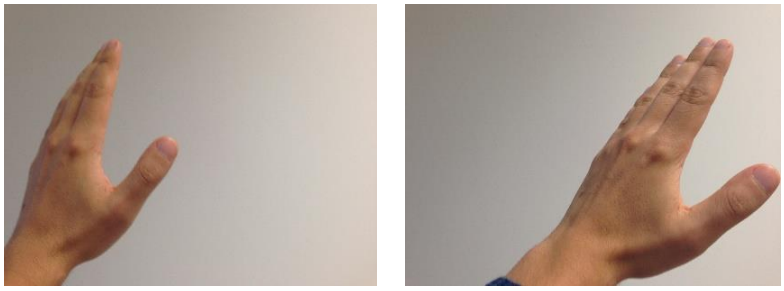

*Abbildung 5.* Ausführung der „Swipe“-Geste.

## 5. Objekte drehen / rotieren („Rotate“)

Zum Rotieren virtueller Objekte um die x-Achse wird der Zeigefinger in horizontaler Richtung nach vorn ausgestreckt, während die anderen Finger angelegt bleiben. Nun wird eine kreisende Bewegung mit dem ausgestreckten Zeigefinger ausgeführt, Hand bleibt dabei ruhig.

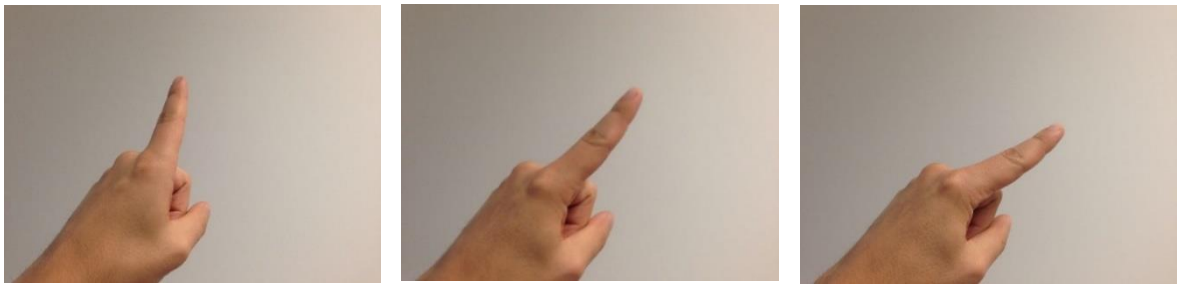

*Abbildung 6.* Ausführung der „Rotate“-Geste.

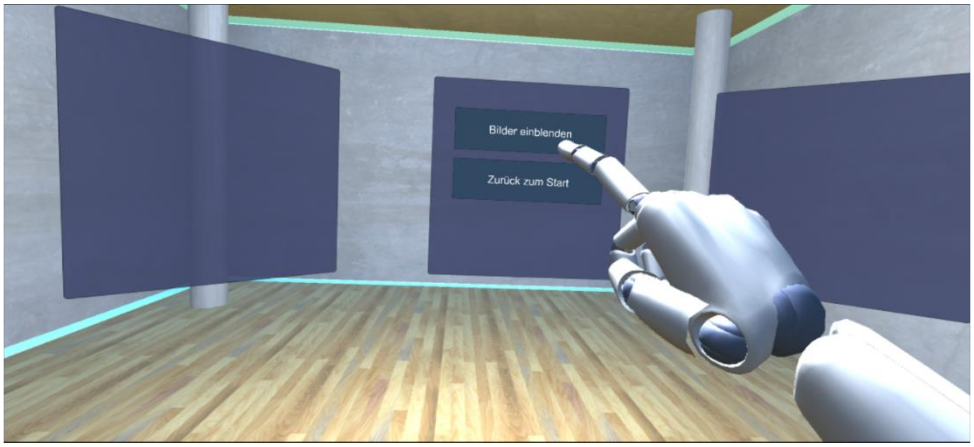


*Abbildung 7.* Überarbeitetes Menü mit Auswahlgeste im virtuellen Testraum.

## 2.2. Konzeption des zweiten Gestenpakets

In der zweiten Projektphase wurden insgesamt sechs Gesten für zentrale Bedienfunktionen der Software designt und prototypisch implementiert. Weiterhin wurde ein neues Konzept für

ein grafisches Menü entwickelt. Das Konzept zum Selektieren und Auswählen von Objekten sowie das Interaktionskonzept für die „Zoom"-Funktion wurden aufbauend auf den Erkenntnissen der ersten Nutzerstudie überarbeitet. Der folgende Abschnitt erläutert die Funktion und die zugeordnete Geste sowie ihre Ausführung.

### 6. Kontextmenü öffnen („Clench")

Das Kontextmenü bedurfte nach der ersten Testphase einer grundlegenden Überarbeitung. Das ursprünglich angedachte Radialmenü erwies sich als nicht geeignet für eine sinnvolle Interaktion, zumindest nicht im aktuellen technischen Rahmen. Aufgrund von gewonnenen Erkenntnissen des ersten Nutzertests wurde nun ein völlig neues Menü basierenden auf einem statischen Fenster-Design entworfen (Abb. 7). Dabei werden bis zu drei Fenster gleichzeitig präsentiert und schwebend im Raum platziert. Auf diese Weise können wesentlich mehr Informationen als bei klassischen zweidimensionalen Fensterlayouts untergebracht werden. Gleichzeitig ist das zugrundeliegende Paradigma dem, klassischer Desktopsysteme ähnlich und bietet dennoch genug Novität um eine innovatives Look and Feel zu vermitteln. Über den Zeitraum des Projekts konnten wir beobachten, dass die räumliche Anordnung von klassischen Fenstern sich als „State-of-the-Art" in zahlreichen VR-Anwendungen durchgesetzt hat. So ist selbiges Konzept beispielsweise in der aktuellen „Oculus Home"-Anwendung zu finden. Wir empfehlen daher dieses Konzept zu verfolgen, um erfahreneren Anwendern ein konsistentes VR-Erlebnis bieten zu können, bei dem bereits erlernte Interaktionskonzepte übertragen werden können. Hinsichtlich der visuellen Gestaltung sollten zur Unterstützung der Wahrnehmung semitransparenter dunkler Flächen als Hintergrund mit Text in weißer Schrift verwendet werden.

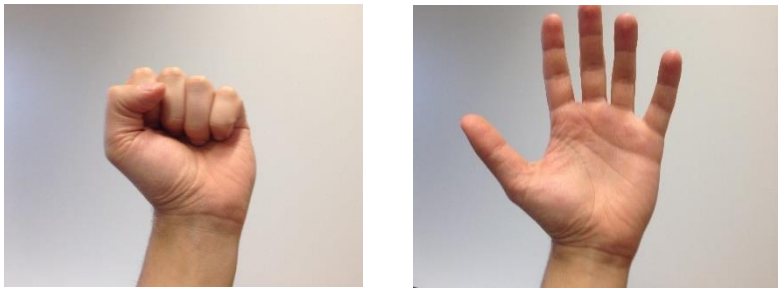

*Abbildung 8.* Ausführung der „Clench"-Geste.

Die Geste zum Öffnen des Menüs bleibt dabei bestehen. Das Menü wird nach einem erfolgreich ausgeführten „Clench" vor dem Nutzer eingeblendet und verharrt an der gleichen Stelle, bis der Nutzer es mit einer anderen Geste wieder schließt.

## 7. Schließen / Abbrechen / Beenden („Swipe Down")

Zum Schließen, Beenden oder Abbrechen von Fenstern und Prozeduren, wie z.B. dem Kontextmenü, muss der Nutzer eine Wischbewegung nach unten vollziehen, so als ob er ein unsichtbares Objekt nach unten drücken will. Bei Beginn der Geste muss die Handfläche der betroffenen Hand parallel zum Boden ausgerichtet sein.

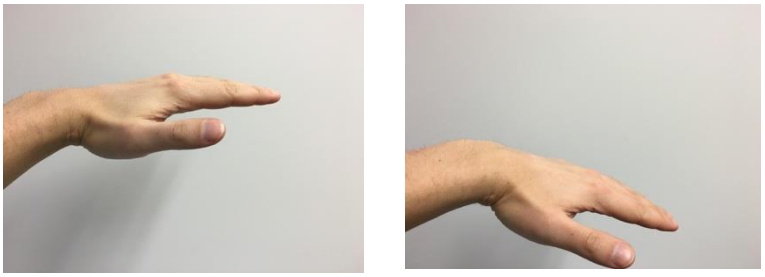

*Abbildung 9.* Ausführung der „Swipe Down"-Geste.

## 8. Objekte auswählen / selektieren („Point“)

Der Selektionsprozess innerhalb der Umgebung wurde im Vergleich zur ersten Testphase grundlegend überarbeitet. Die gewonnenen Erkenntnisse gaben Aufschluss darauf, dass eine kontrollierte Auswahl mit erhöhtem Feedback vorteilhafter für eine gute User Experience ist. Deshalb wurde ein zweistufiges Selektionsverfahren entworfen. Der Nutzer muss zuerst ein Objekt mit simplen „darauf zeigen“ auswählen und kann dann seine Auswahl bestätigen, bzw. Funktionen des ausgewählten Objekts aktivieren. Um ein Objekt auszuwählen genügt ein simples Austrecken des Zeigefingers einer beliebigen Hand.

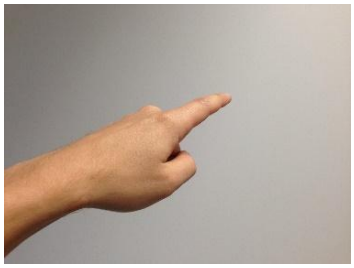

*Abbildung 10.* Ausführung der „Point“-Geste.

## 9. Auswahl visualisieren („Laserpointer“)

Diese Geste ist eine Erweiterung der vorhergegangenen „Point“-Geste. Bei einer Selektion mit der „Point“-Geste kann es zu Schwierigkeiten bei der Auswahl entfernter Objekte kommen, da der Nutzer nicht mehr genau den Punkt abschätzen kann, auf den er zeigen will. Daher muss eine bessere Visualisierung des Auswahlprozesses stattfinden. Die Idee bei der „Laserpointer“-Geste ist eine Einblendung eines Laserstrahls ausgehend von der Fingerspitze des Nutzers entlang der Zeigerichtung. Die entsprechende Geste ist sozusagen eine modifizierte „Point“-Geste. Wenn der Nutzer beim Zeigen zusätzlich seinen Daumen austreckt wird der Laserpointer aktiviert.

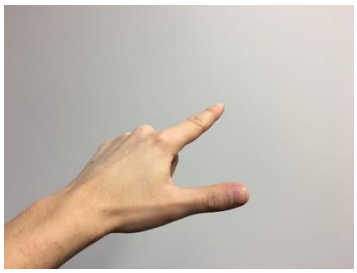

*Abbildung 11.* Ausführung der „Laserpointer“-Geste.

## 10. Ausgewähltes Objekt aktivieren („Tap“)

Zur Bestätigung einer Auswahl und Aktivierung von zusätzlichen Funktionen dient nun die bereits im ersten Testdurchlauf genutzte „Tap“-Geste. Sie ist angelehnt an die Bewegung beim Klicken der Maustaste. Der Benutzer muss den Zeigefinger ausstrecken, während er die anderen Finger angelegt lässt, um auf das jeweilige Objekt zu zeigen. Anschließend wird eine Abwärtsbewegung des Zeigefingers ausgeführt.

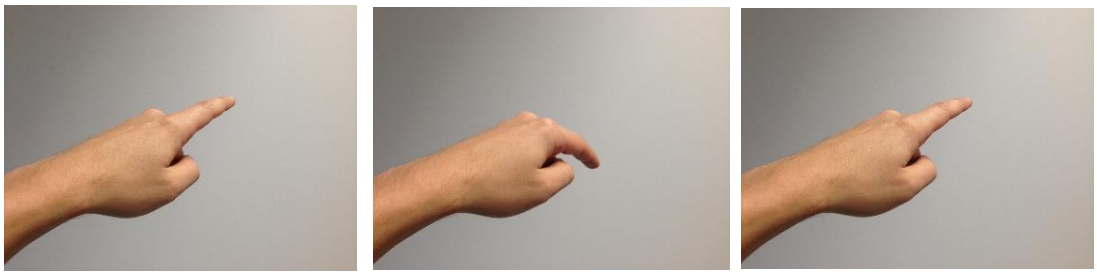

*Abbildung 12.* Ausführung der „Tap“-Geste.

*Abbildung 13.* Bild aus der Testumgebung, welches ausgewählt werden kann.

## 11. Objekte vergrößern/verkleinern („Zoom“)

Das Vergrößern und Verkleinern virtueller Objekte, beziehungsweise das Zoomen von Bildern wurde ebenfalls grundlegend überarbeitet. Wenn ein Bild ausgewählt wurde, so werden nun Ankerpunkte in Form von roten Balken an den Bildrändern eingeblendet. Der Nutzer kann nun mit einer zweihändigen Geste das Bild „auseinander ziehen“ oder „zusammen drücken“. Dafür muss er mit beiden Zeigefingern auf die Ankerpunkte zeigen und diese dann voneinander weg oder auf einander zu bewegen. Die Geste funktioniert auch, wenn alle Finger der Hand ausgestreckt werden. Dieser Umstand wurde in Hinblick auf Fehlertoleranz und eine daraus resultierende Verbesserung der Erkennung implementiert.

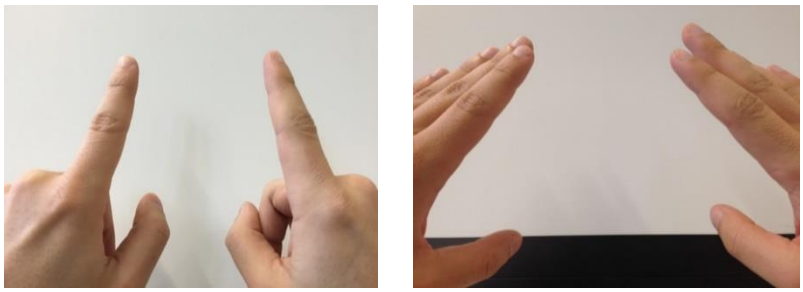

*Abbildung 14.* Ausführung der „Zoom“-Geste.

# 3. Empirische Validierung des Konzepts (Evaluation)

Im Anschluss an die Konzeption und Implementierung der Gesten, wurden zwei empirische Untersuchungen zur Evaluation des grundlegenden Konzepts durchgeführt. Ziel war die Überprüfung von Erlernbarkeit, leichter und intuitiver Ausführung der Gesten sowie Natürlichkeit der Interaktion. Im Allgemeinen sollte weiterhin beobachtet werden, wie die Probanden auf die gestenbasierte Steuerung reagieren und wie diese grundsätzlich bewertet wird.

## 3.1. Methodik

Die Studien zur Konzeptüberprüfung wurden in der Universität Duisburg-Essen mit Studierenden im Zeitraum vom 04.11.2015 bis zum 13.11.2015 und vom 15.02.2016 bis zum 17.02.2016 durchgeführt. Dabei wurden die wissenschaftlichen Standards der empirischen psychologischen Forschung eingehalten und klassische Vorgehensweisen im Bereich der Mensch-Computer-Interaktion angewendet. Nachfolgend werden die eigens für diesen Zweck entwickelte Testumgebung und das Studiendesign sowie die verwendeten Messinstrumente und Verfahren vorgestellt, welche in beiden Studien verwendet wurden.

### 3.1.1. Testumgebung

Da die technische Integration der erarbeiteten Gesten in die eigentliche Zielsoftware „present4D“ nicht möglich war, wurde eine einfache Testumgebung in Unity konstruiert. Diese besteht vornehmlich aus einem simplen und neutralen Raum. Die Position des Benutzers ist fix, er kann sich umsehen, sich aber nicht bewegen. Innerhalb dieser virtuellen Umgebung wird dem Probanden nun über einfache Texteinblendungen am unteren rechten Bildschirmrand Interaktionsaufgaben präsentiert (z.B. „Öffnen Sie das Menü und Wählen Sie Option A.“ oder „Selektieren Sie Bild 3 und vergrößern Sie es.“). Nach der erfolgreichen Bearbeitung einer Interaktionsaufgabe, wird die nächste gestellt, bis alle Aufgaben bearbeitet wurden. Nur die zu untersuchenden Gesten werden erkannt und verarbeitet. Die Interaktionsaufgaben wurden gemäß den angenommenen, typischen Arbeitsabläufen in einer Präsentationsumgebung wie „present4D“ definiert. Vor der ersten Verwendung der Testumgebung werden Alter, Geschlecht und Händigkeit des Probanden erfasst.

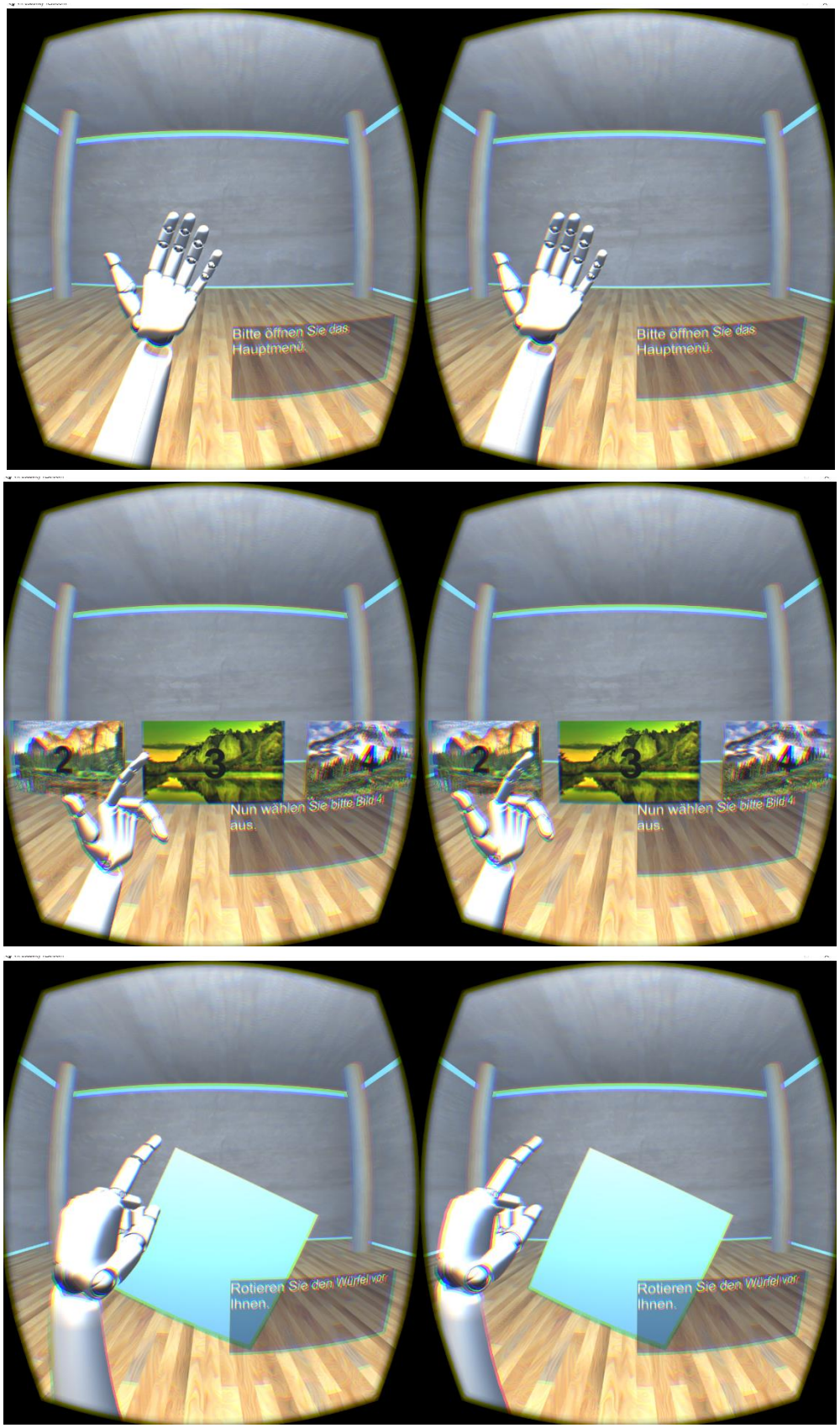


*Abbildung 15.* Ausführung verschiedener Gesten in der Testumgebung, die den Anweisungen unten rechts im Bild folgen.

### 3.1.2. Studiendesign

Das verwendete Studiendesign gliedert sich in verschiedene Phasen. Nach einer kurzen Begrüßung und Aufklärung durch den Versuchsleiter und nach Unterzeichnung der Einverständniserklärung über die Freiwilligkeit der Teilnahme und die Nutzung der erhobenen Daten, erhielten die Probanden eine kurze Erläuterung der zur Verfügung stehenden Gesten und der assoziierten Funktionen in der Software in Papierform. Die Probanden hatten dabei beliebig viel Zeit, die Erklärungen in Ruhe zu lesen. Anschließend wurde ein Screening Fragebogen ausgehändigt, um etwaige Ausschlusskriterien (Schwangerschaft, Epilepsie, Herzkreislaufprobleme, Unvermögen stereoskopisch zu sehen, etc.) zu erfassen.

Im nächsten Schritt wurden die Probanden für die Rezeption der VR Anwendung vorbereitet. Die Funktionsweise der Oculus Rift und der Leap Motion wurde kurz erläutert, die Rift aufgesetzt und für einen angenehmen Sitz gesorgt. Vor dem Start der Aufgaben in der VR, hatten die Probanden Zeit sich im virtuellen Raum umzusehen und sich an den Seheindruck zu gewöhnen. Danach wurde die erste Aufgabenrunde gestartet.
Während der Interaktion mit der VR beobachtete der Versuchsleiter die Probanden und verwendete dabei einen standardisierten Beobachtungsleitfaden. Darin wurden Äußerungen der Probanden festgehalten, sowie eine Bewertung des Abschneidens vorgenommen und mögliche Fehler des Systems erfasst.
Nach Bearbeitung aller Interaktionsaufgaben wurden die Probanden gebeten eine Reihe computergestützter Fragebögen auszufüllen. Um Lern- und Trainingseffekte nachweisen zu können und um etwaigen Störeinflüsse durch ein fehlerhaftes Arbeiten des Systems entgegenwirken zu können, wurde eine zweite Interaktionsrunde mit leicht veränderter Aufgabenstellung durchgeführt. Daran schloss sich eine weitere kurze Fragebogenrunde.

Nach den einzelnen Phasen und nach Abschluss des Versuchs wurden die Probanden mündlich durch den Versuchsleiter nach ihrer körperlichen Verfassung gefragt, um negative Effekte durch Simulator Sickness rechtzeitig erkennen zu können und die Sicherheit der Probanden zu gewährleisten.
Die Versuchsdauer betrug je nach Abschneiden der Probanden zwischen 45 und 60 Minuten. Als Vergütung konnten die Probanden zwischen dem Erhalt von Versuchspersonenstunden[1] oder der Teilnahme an einer Verlosung von drei Amazon-Gutscheinen wählen.

## 3.2. Technische Einschränkungen

Der praktische Einsatz des Systems und insbesondere der Leap Motion im Rahmen der Studie mit ungeübten Anwendern zeigte einige technische Schwachstellen der verwendeten Technologie auf. Das häufigste Problem ist die fehlerhafte Erkennung der Finger und somit die asynchrone Darstellung der virtuellen Hände in Bezug auf die realen Hände des Benutzers. Dies hatte weiter zur Folge, dass Gesten häufig nicht richtig erkannt wurden, obwohl die Benutzer

[1] Versuchspersonenstunden sind ein studiengangeigenes System zur Vergütung von Studien-Teilnahmen. Jeder Studierende des Studiengangs „Angewandte Kognitions- und Medienwissenschaft“ (Komedia), muss diese Nachweise über die Studienteilnahme sammeln, um selbst Studien entsprechend vergüten zu können.

diese korrekt ausgeführt hatten. In einigen Fällen wurde der Ablauf der Studie durch die fehlerhafte Erkennung stark verzögert. Dementsprechend erlebten einige Probanden ein höheres Maß an Frustration, welche auf die nicht erwartungsgemäß funktionierende Technik projiziert wurde. Diese Unzufriedenheit zeigt sich in den quantitativ erhobenen Daten, aber auch in den verbalen Äußerungen der Probanden („Wieso erkennt der meine Hände denn nicht? Ich mach das alles richtig!"). Ein weiteres Problem war die fälschliche Erkennung weiterer Hände im Raum („Phantomhand") - bei manchen Versuchen wurden bis zu fünf solcher Phantomhände angezeigt. Diese wurden nur als Objekte im virtuellen Raum dargestellt und führten nicht zu Problemen bei der Bedienung der Software, lösten bei den Probanden jedoch Verwunderung und Unbehagen aus. Solche Phänomene sind der Immersion und des Präsenzerlebens abträglich.
Da sich diese technischen Schwierigkeiten schon zu Beginn der Studie äußerten, wurden verschiedene mögliche Störfaktoren identifiziert und sofern möglich eliminiert. Dazu gehören andere Infrarotquellen (z.B. das Infrarot-Signal der Trackingkamera der Oculus Rift), Reflexionen durch die Leuchtstoffröhren im Labor, sich ändernde Lichtverhältnisse (als Gegenmaßnahme wurde der Raum durch Rollläden vom Sonnenlicht abgeschirmt und über die künstliche Beleuchtung konstante Lichtverhältnisse geschaffen) sowie Nagellack bei weiblichen Probanden, Armbanduhren oder Schmuck (z.B. Ringe, Armreifen, etc.). Auch wurde der Sensor regelmäßig gereinigt.
Leider ließ sich trotz dieser Maßnahmen keine systematische Verbesserung beobachten. Die folgenden Ergebnisse sind daher vor dem Hintergrund dieser Problematik zu bewerten.

## 3.3. Ergebnisse

### 3.3.1. Demografie und Kontrollvariablen

An der ersten Studie nahmen insgesamt 16 Personen, davon 12 weibliche und 4 männliche, teil. Das Durchschnittsalter lag für Männer bei $M = 20.5$ ($SD = 2.89$) und für Frauen bei $M = 19.8$ ($SD = 1.77$) Jahren (*Range*: 18-23). Dieses recht niedrige Durchschnittsalter hängt mit der hohen Beteiligung von Studierenden im ersten Semester zusammen. Aufgrund der ungleichen Verteilung des Geschlechts, die auf den hohen Frauenanteil des Studiengangs „Komedia" zustande kommt, wurden die gemessenen Ergebnisse auf systematische Geschlechtsunterschiede untersucht. Dabei wurde kein signifikanter Einfluss des Geschlechts gefunden. Folglich kann der Einfluss des Geschlechts vernachlässigt werden.

Bei der zweiten Studie nahmen insgesamt 14 Personen, davon 6 weibliche und 8 männliche, teil. Der Altersdurchschnitt lag für Männer bei $M = 26.3$ ($SD = 3.01$) und für Frauen bei $M = 25$ ($SD = 2.53$) Jahren (*Range*: 21-31). Die Rekrutierung wurde nun breiter aufgestellt, indem „Experten"[2] getestet wurden. Im Vergleich zur ersten Studie ist das Durchschnittsalter höher, ebenso ist die Geschlechterverteilung ausgeglichen.

[2] Experten bezeichnen Personen, die auf dem Gebiet der VR bereits Erfahrungen gesammelt haben oder gar auf dem Gebiet arbeiten.

In beiden Stichproben gab es jeweils nur einen Linkshänder, weshalb über den Einfluss der Händigkeit auf die Performance keine Aussagen getroffen werden können. Alle Probanden verfügten mindestens über Abitur oder einen Hochschulabschluss und besaßen durchschnittliche Erfahrungen im Umgang mit digitalen Spielen und entsprechenden technischen Plattformen (Spielkonsolen, Gaming PCs, etc.). Weiterhin wurden die Vorerfahrungen im Bereich Virtual Reality abgefragt. Bis auf ein Proband gaben alle Teilnehmer der ersten Studie an, noch nie mit Virtual Reality in Berührung gekommen zu sein, wohingegen in der zweiten Studie 12 von 14 Probanden bereits Erfahrungen mit Virtual Reality gemacht hatten, überwiegend mit der Oculus Rift oder dem Google Cardboard.

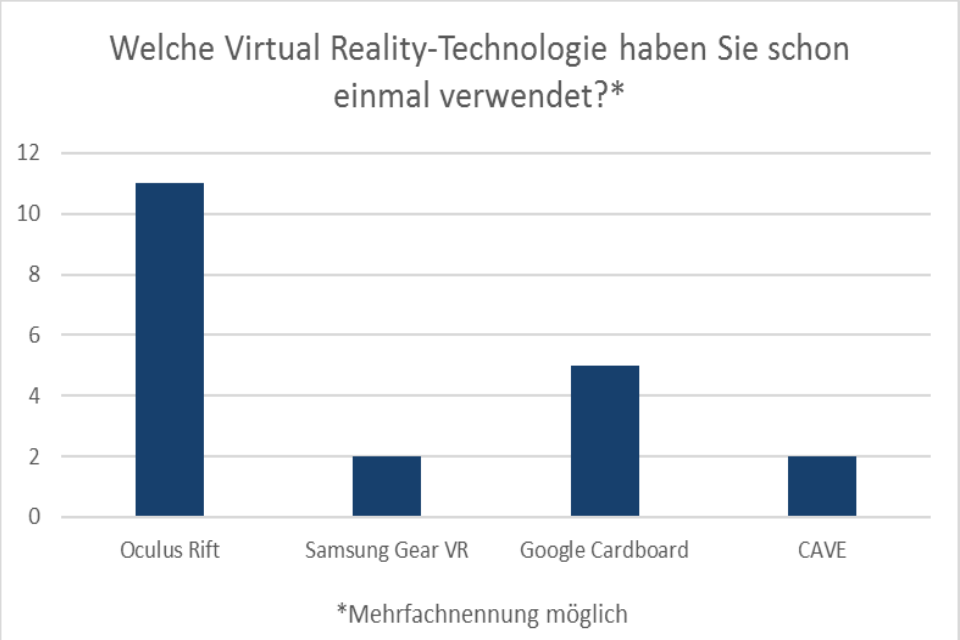


*Abbildung 16.* Auswertung der VR-Erfahrungen.

Kein Proband musste aufgrund der Angaben über körperliche Einschränkungen im Screening Fragebogen vom Versuch ausgeschlossen werden. Weiterhin zeigten die Ergebnisse des Simulator Sickness Questionnaire (SSQ), dass es nicht zu nennenswerten negativen körperlichen Effekten kam. Das einzige Symptom, welches sich im SSQ zeigt und auch von den Probanden in der Selbstauskunft gegenüber den Versuchsleitern geäußert wurde sind angestrengte, müde oder tränende Augen.

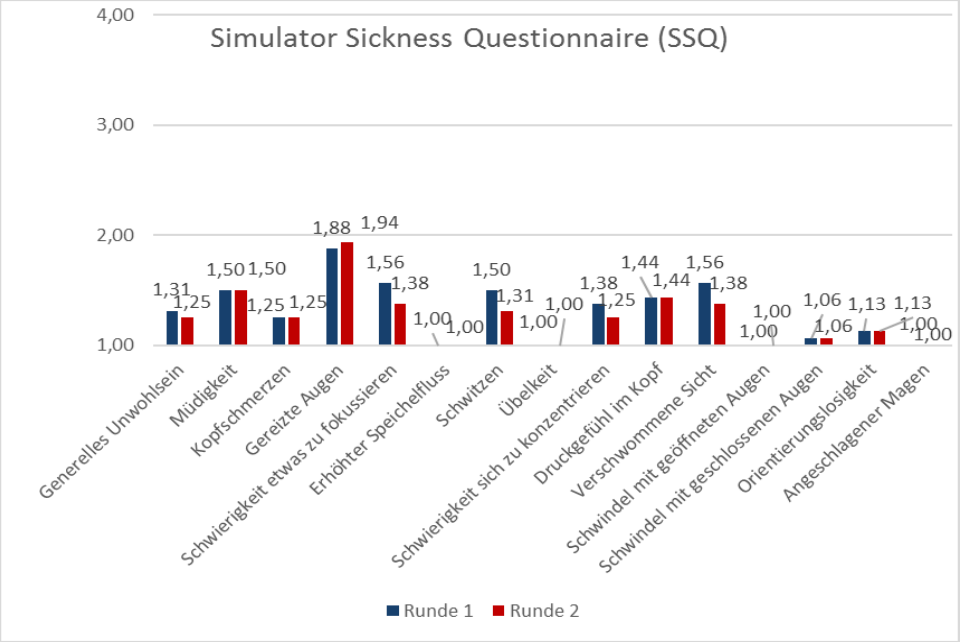


*Abbildung 17.* Mittelwerte SSQ, Studie 1 ($N$ = 16).

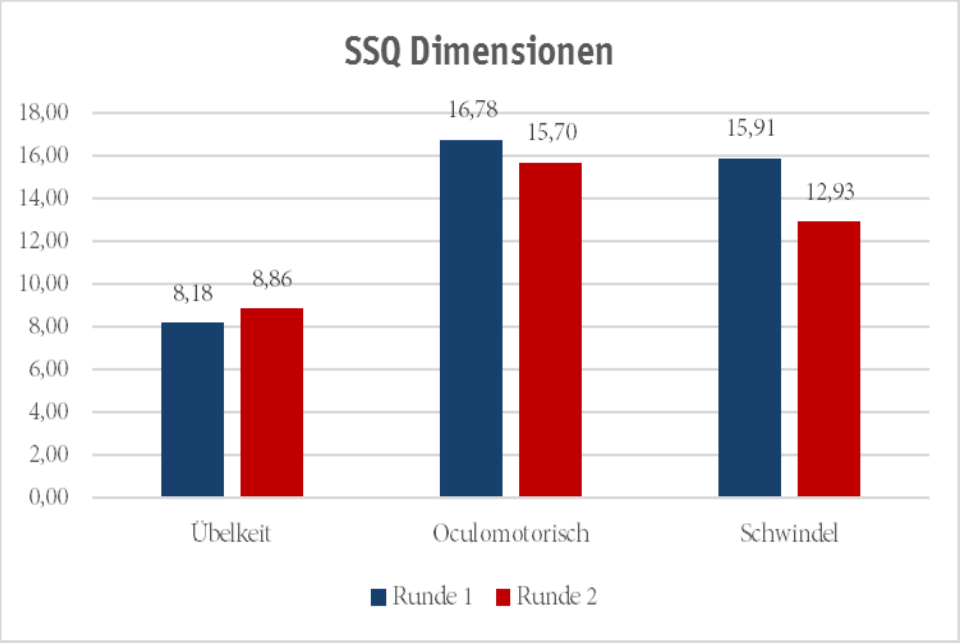


*Abbildung 18.* Total Score SSQ, Studie 2 ($N$ = 14).

Der durchschnittliche Total Score lag nach dem ersten Versuchsdurchlauf bei 15.76 und nach dem zweiten Durchlauf bei 14.69 und ist nach Kenney et al. (1993) im mittleren Feld anzusehen. Die Unterschiede in den Mittelwerten zwischen den beiden Versuchsrunden sind statistisch nicht signifikant, d.h. es ist von zufälligen Unterschieden auszugehen.

Alle Probanden zeigten sich den ganzen Versuch über motiviert, geduldig und ernsthaft, äußerten auch im persönlichen Gespräch mit dem Versuchsleiter vor und nach dem Versuch Interesse am Thema. Insgesamt bewerteten die Probanden das VR-Erlebnis sehr positiv, trotz

teilweise größeren technischen Schwierigkeiten, bedingt durch die nicht immer zuverlässige Funktionsweise der Leap (s. Kapitel 2.2.).
Es wurde weiterhin abgefragt, ob die Aufgaben in der Testumgebung erkannt und verstanden wurden. Dabei zeigten sich keine systematischen Schwierigkeiten.

Diese Kontrollergebnisse zeigen, dass die nötigen Rahmenbedingungen für eine tiefere inhaltliche Analyse gegeben sind und Verzerrungen bedingt durch äußere oder intraindividuelle Einflüsse ausgeschlossen werden können.

### 3.3.2. Erlernbarkeit

Um erfassen zu können, wie intuitiv erlernbar die entworfenen Gesten sind, wurden die Probanden nach beiden Runden gebeten zu bewerten, wie schwierig die Erfüllung der Aufgabe für sie war. Ebenso wurden Effizienz und Zufriedenheit abgefragt. Die nachfolgende Grafik (Abb. 19) zeigt einen signifikanten Anstieg der Mittelwerte in Runde 1 mit $M = 2.92$ ($SD = .77$) und in Runde 2 mit $M = 3.54$ ($SD = 1.23$) für die positiven Items, $t(15) = -2.14$, $p = .049$.

So gab es einen signifikanten Anstieg des Items „Wie effizient konnten sie die Aufgaben lösen?“ von Runde 1 mit $M = 3.25$ ($SD = 1.0$) zu Runde 2 mit $M = 4.19$ ($SD = 1.42$), $t(15) = -2.53$, $p = .023$. Auch das Item „Wie gewohnt war es für Sie die Software mit den Händen zu bedienen.“ zeigt einen signifikanten Anstieg der Mittwerte von Runde 1 mit $M = 2.13$ ($SD = 1.31$) zu Runde 2 mit $M = 3.94$ ($SD = 1.65$), $t(15) = -3.95$, $p = .001$.

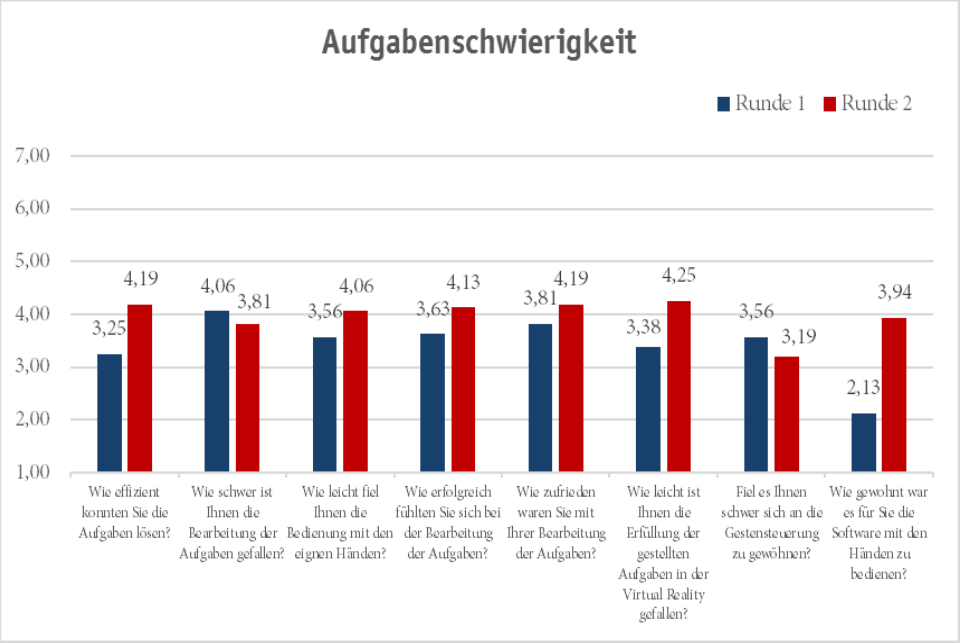


*Abbildung 19.* Mittelwerte, Studie 1 ($N = 16$).

In Studie 2 dagegen ist sowohl ein signifikanter Anstieg der positiven Items, als auch ein signifikanter Abstieg der negativen Items zu verzeichnen. Positive Items stiegen von einem Mittelwert $M = 3.46$ ($SD = 1.09$) in Runde 1 auf $M = 5.08$ ($SD = 1.38$) in Runde 2, $t(13) = -5.46$, $p < .001$. Negative Items sinken von einem Mittelwert $M = 3.32$ ($SD = 1.05$) in Runde 1 auf $M = 2.57$ ($SD = 1.22$) in Runde 2, $t(13) = 3.00$, $p = .010$.

Die Ergebnisse machen deutlich, dass der Anstieg der positiven Items zeigt, wie schnell sich positive Trainings- bzw. Gewöhnungseffekte einstellen und dass negative Bewertungen durch die wiederholte Durchführung sinken. Dies wird nicht nur in den Kommentaren der Probanden deutlich:

*„Sobald man sich erstmal an die Bedienung gewöhnt hatte, fiel sie recht leicht und machte Spaß."*

Die festgestellten Mittelwertdifferenzen sind alle statistisch signifikant auf einem Signifikanzniveau von 5%.

In der zweiten Studie wurden zur weiteren Absicherung der guten Erlernbarkeit der Ausführung und der Bedeutung der einzelnen Gesten die Probanden nach jeder Runde gebeten zu bewerten, wie gut sie sich an eben diese erinnern konnten. Das Item „Wie gut konnten Sie sich an die Bedeutung der einzelnen Gesten erinnern" erreichte in Runde 1 einen sehr hohen Mittelwert von $M = 6.0$ ($SD = 1.17$) und ein $M = 6.5$ ($SD = 0.65$) in Runde 2. Das Item „Wie gut konnten Sie sich an die Ausführung der einzelnen Gesten erinnern" erreichte in Runde 1 ebenfalls einen hohen Mittelwert von $M = 5.71$ ($SD = 1.07$) und ein $M = 6.36$ ($SD = 0.93$) in Runde 2. Da die Werte für diese Items nicht normalverteilt waren, wurde ein Wilcoxon Vorzeichen Rang-Test zur Überprüfung der statistischen Signifikanz durchgeführt. Für Frage 1 (Bedeutung) ergab sich ein signifikanter Mittelwertunterschied, $z = -2.07$, $p = .038$, $r = -.55$, sowie ebenfalls für Frage 2 (Ausführung) $z = -2.71$, $p = .007$, $r = -.73$. Die Effektstärken wurden zur Untermauerung berechnet und ergaben beide einen großen Effekt. Vor dem Hintergrund dieser Ergebnisse können wir also festhalten, dass die entwickelten Gesten leicht zu erlernen und gut zu erinnern sind. Ebenfalls zeigen die Ergebnisse, dass schon nach zweimaliger Wiederholung starke Trainingseffekte auftreten.

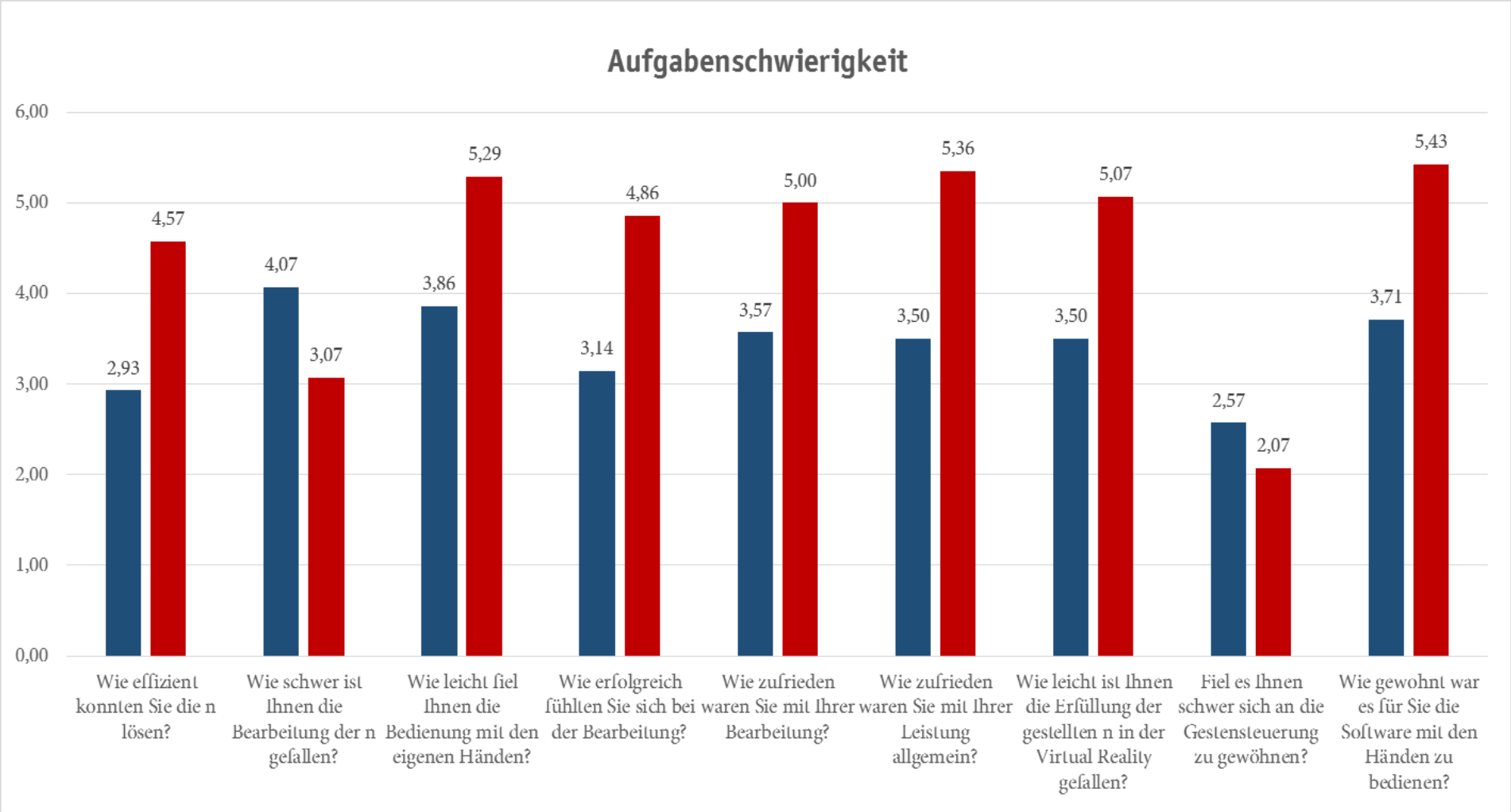


*Abbildung 20.* Mittelwerte, Studie 2 ($N$ = 14).

### 3.3.3 User Experience

Die User Experience wurde mittels spezieller Einzelfragen in Kombination mit dem User Experience Questionnaire (UEQ) ermittelt. Dieser Fragebogen wird üblicherweise zur Bewertung der User Experience von Softwareprodukten verwendet. Dabei bewertet jeder Proband das entsprechende Produkt, bzw. die jeweilige Geste, anhand von 26 Wertpaaren (z.B. „effizient – ineffizient“, „attraktiv – unattraktiv“, „originell – konventionell“) auf einer 7-stufigen bipolaren Skala. Die Scores der einzelnen Items werden wiederum zu sechs Dimensionen (Attraktivität, Durchschaubarkeit, Steuerbarkeit, Effizienz, Stimulation und Originalität) zusammengefasst. Auf diese Weise können die einzelnen Gesten hinsichtlich der Dimensionen verglichen werden. Außerdem wurden die entworfenen Gesten gezielt durch die Beobachtung der Probanden durch den Versuchsleiter während der Erfüllung der Interaktionsaufgaben analysiert. Dazu wurde ein standardisierter Beobachtungsleitfaden bzw. Evaluationsbogen eingesetzt und schriftliche Notizen gemacht.

Die folgende Abbildung zeigt die durchschnittliche Bewertung (UEQ) der Probanden der gesamten Gestensteuerung anhand von insgesamt elf aggregierten Attributen in Studie 1. Abgetragen sind außerdem die jeweiligen Standardabweichungen.
Die User Experience ist insgesamt als positiv einzustufen. Die Probanden empfanden die Steuerung als intuitiv, hilfreich und natürlich.

*„Es war sehr innovativ und intuitiv. Die Aufgaben waren sehr gut, um einen Einstieg in die Arbeit mit VR zu bekommen.“*

Den höchsten Wert ($M = 4.18$, $SD = 1.33$) erzielt die Kategorie „Spaß“. Allerdings erhielt die Anwendung auch hohe Scores in den Kategorien „Anstrengung“, „Aufwand“ und „Ärger“ sowie einen vergleichsweise niedrigen Wert bei „Zufriedenheit“ ($M = 3.38$, $SD = 1.26$). Dieser Umstand kann auf die nicht reibungslose Erkennung der Hände durch die Leap Motion zurückgeführt werden. Da dies dazu führte, dass die Probanden zum Teil sehr häufig gezwungen waren, die einzelnen Gesten immer wieder auszuführen bis diese erkannt wurden, obwohl sie selbst dabei keine Fehler machten. Die Folge ist eine latente Frustration, die einige Probanden auch in ihren verbalen Äußerungen zum Ausdruck brachten.

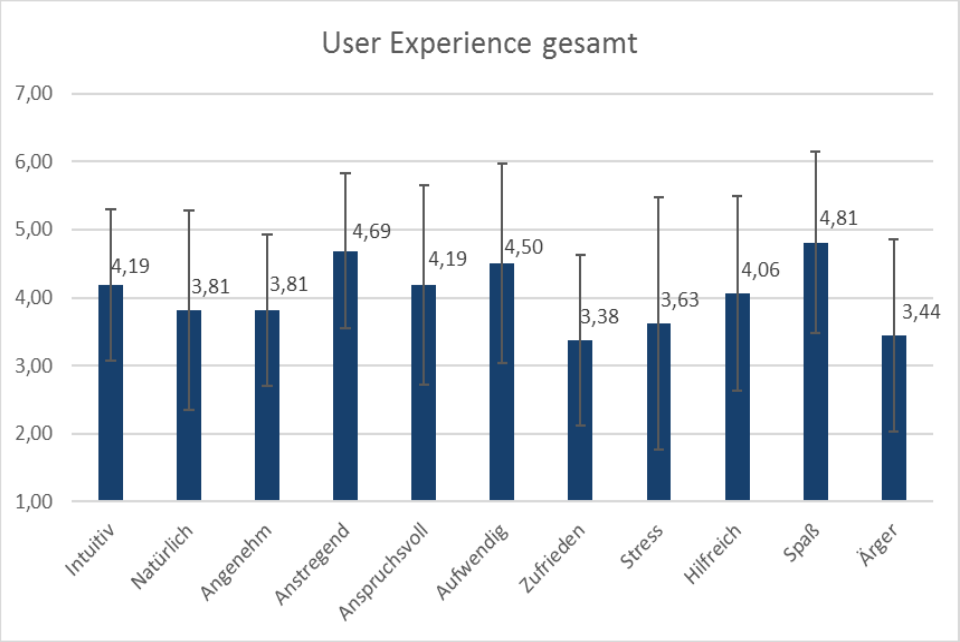


*Abbildung 21.* Mittelwerte, Studie 1 ($N$ = 16).

*„Da das Auswählen der Bilder nur schlecht geklappt hat, fühlte man sich leicht hilflos."*

*„Ich hatte Schwierigkeiten beim Weiterschalten der Bilder und die ganze Interaktion war ein bisschen zeitaufwändig."*

Die Probanden hatten bei keiner Geste größere Schwierigkeiten die Ausführung zu erinnern. In Anbetracht dessen, dass sie zur Vorbereitung nur eine textuelle, bildhafte Anleitung mit Fotografien erhalten hatten, musste der Versuchsleiter in Einzelfällen die exakte Ausführung der Geste erklären. Kein Proband hatte danach Schwierigkeiten die gelernte Geste eigenständig ausführen. Diese Beobachtung unterstützt die bereits in der Analyse festgestellte Natürlichkeit und intuitive Erlernbarkeit der designten Gesten.

In der ersten Studie führte einzig die Ausführung der „Tap"-Geste führte häufiger zu Schwierigkeiten. Hier ist das grundlegende Prinzip (auf ein Interaktionselement zeigen und zum Selektieren eine Abwärtsbewegung des Fingers ausführen) häufig nicht deutlich gewesen. Diese Geste wird daher in Richtung eines zweistufigen Auswahl-Auslöse-Verfahrens überarbeitet.
Aus technischer Sicht als besonders fehleranfällig in der Erkennung hat sich die „Rotate"-Geste herausgestellt. Weiterhin ist das Mapping einer nach oben gerichteten Bewegung mit dem Zeigefinger auf eine Rotation um die z-Achse nicht intuitiv. Daher wird an der grundsätzlichen Geste festgehalten aber eine Überarbeitung vorgenommen.

Während die „Clench"-Geste zum Aufrufen des Menüs sehr positiv bewertet wurde, hat sich die Gestaltung des Menüs als Ring nicht bewährt. Problematisch ist dabei insbesondere die Verdeckung von Menüelementen durch die bedienende Hand. So kam es häufiger zu Fehlauswahlen und Erkennungsproblemen. Im ursprünglichen Konzept wird das Ringmenü

über der Handfläche platziert und folgt dieser. Dies unterstützt zwar die Immersion und wirkt im positiven Sinne „verspielt“, allerdings stellt sich auch eine gewisse Unruhe durch leichte Bewegungen der ausgestreckten Hand aus, was das Zielen auf die Menüelemente mit dem Zeigefinger erschwert. Wir beabsichtigen daher das Menü statischer zu gestalten. Die „Clench“-Geste zum Aufrufen wird beibehalten, zusätzlich wird eine spezielle Geste zum Schließen des Menüs entworfen.

In der zweiten Studie stellte sich insbesondere die Laserpointer-Funktion sowie die dazugehörige Geste als sehr hilfreich für die Interaktion in der virtuellen Welt, da auf diese Weise ein direktes Feedback über die Position des „Pointers“ gegeben wird.
Wie schon in der ersten Studie bestätigte sich außerdem, dass die „Clench“-Geste zum Aufrufen des Menüs sehr gut funktioniert. Da die Ergebnisse der ersten Studie eine Überarbeitung des Menüs erforderlich gemacht haben, wurde nun ein neues Konzept getestet. Dieses statischere Design hat sich deutlich bewährt. Es kam zu wesentlich weniger Fehleingaben und war für die Probanden intuitiver zu bedienen.
Im Folgenden werden die Ergebnisse des UEQ für die einzelnen Gesten der 2. Studie erläutert.

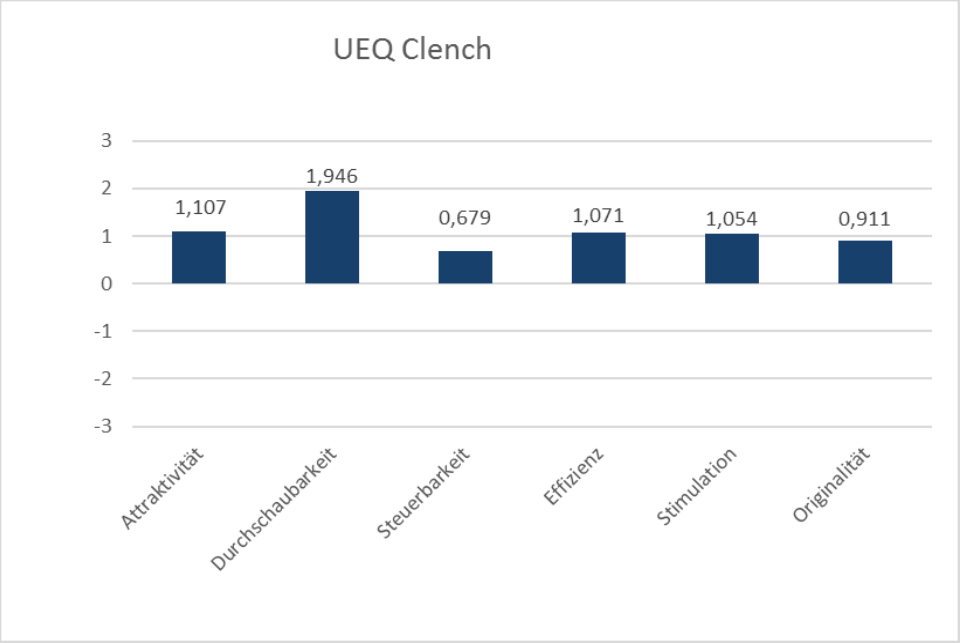


*Abbildung 22.* Mittelwerte, Bewertung der „Clench“-Geste, Studie 2 ($N$ = 14).

Die „Clench“-Geste zum Öffnen des Kontextmenüs wurde bereits in Studie 1 evaluiert und für gut befunden. Die positiven Ergebnisse werden nun auch in Studie 2 bestätigt. Die Geste erreicht, im Vergleich zu den anderen in dieser Studie evaluierten Gesten, den höchsten Wert für Attraktivität. Weiterhin wird sie als sehr leicht erlernbar (hoher Score bei Durchschaubarkeit) attraktiv und effizient bewertet.

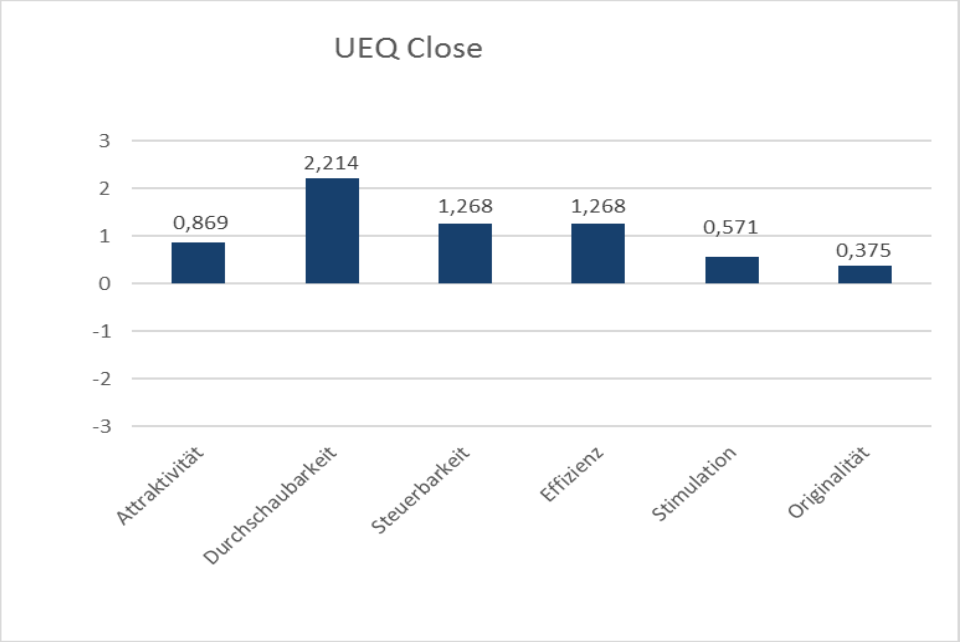


*Abbildung 23.* Mittelwerte, Bewertung der „Close"-Geste, Studie 2 ($N$ = 14).

Im Zuge der Überarbeitung des Kontextmenüs wurde eine neue Geste zum Schließen des Menüs entworfen. Diese erzielte ebenfalls hohe Scores bei Steuerbarkeit und Effizienz. Die gute Erlernbarkeit lässt sich an dem Score für Durchschaubarkeit ablesen: Hier erreicht die Gesten im Vergleich zu den übrigen getesteten Gesten den höchsten Wert. Der geringere Wert für Originalität gibt Aufschluss darüber, dass den Probanden diese Geste weitestgehend aus anderen Kontexten vertraut ist.

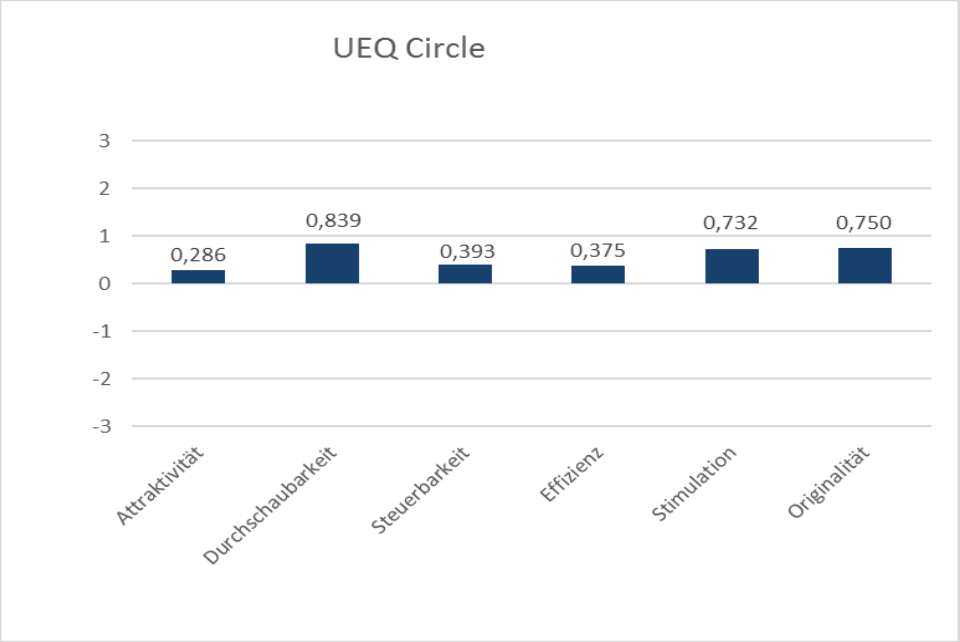


*Abbildung 24.* Mittelwerte, Bewertung der „Circle"-Geste, Studie 2 ($N$ = 14).

Während in Studie 1 die „Circle"-Geste nur zum horizontalen Rotieren eingesetzt wurde, haben wir in Studie 2 das Äquivalent zur vertikalen Rotation getestet. Diese Geste schneidet insgesamt schlechter ab als die „Clench"-Geste, erreichte aber dennoch positive Werte im UEQ. Auch hier liegen die höchsten Werte in den Dimensionalen Durchschaubarkeit, Stimulation und Originalität. Die qualitative Analyse (s.u.) liefert zusätzliche Auskunft über das Zustandekommen dieser Ergebnisse und wertvolle Verbesserungsvorschläge.

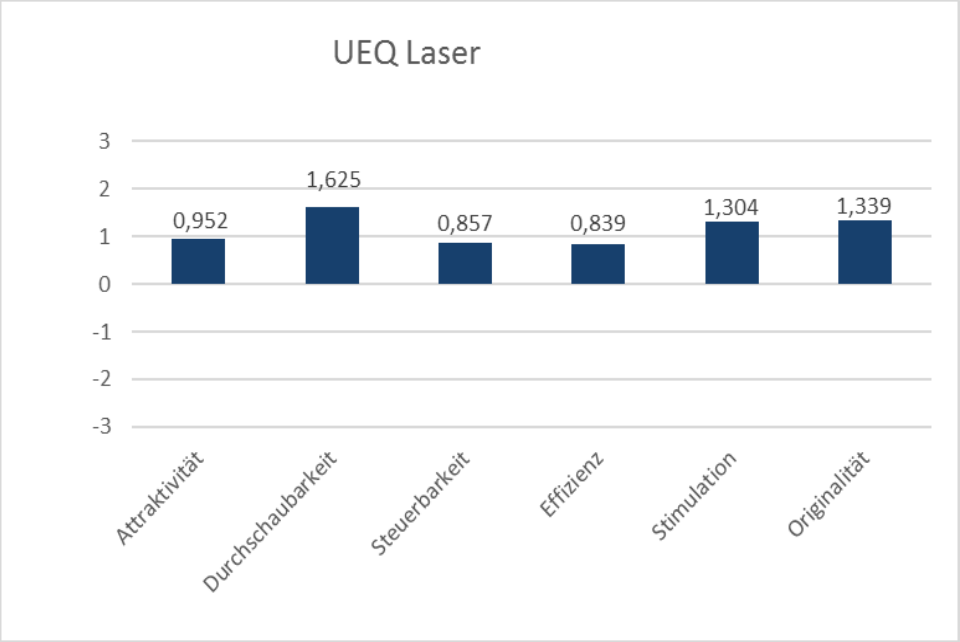


*Abbildung 25.* Mittelwerte, Bewertung der „Laser"-Geste, Studie 2 ($N$ = 14).

Die Geste zum aktivieren des Laserpointers wurde ebenfalls positiv und als sehr hilfreich bewertet (s. qualitative Analyse). Die Geste erreichte hohe Werte im UEQ für Durchschaubarkeit und Stimulation und den höchsten Wert für Originalität im direkten Vergleich zu den anderen Gesten. Ebenfalls im Vergleich mit den anderen Gesten wurde Geste als sehr attraktiv wahrgenommen und liegt damit nur knapp hinter der „Clench"-Geste.

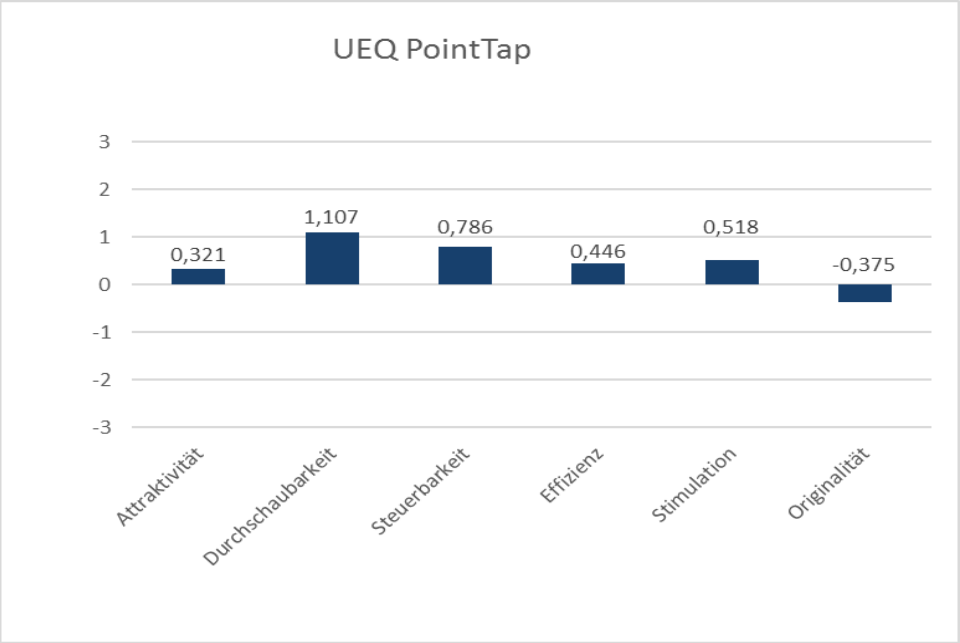


*Abbildung 26.* Mittelwerte, Bewertung der „PointTap"-Geste, Studie 2 ($N$ = 14).

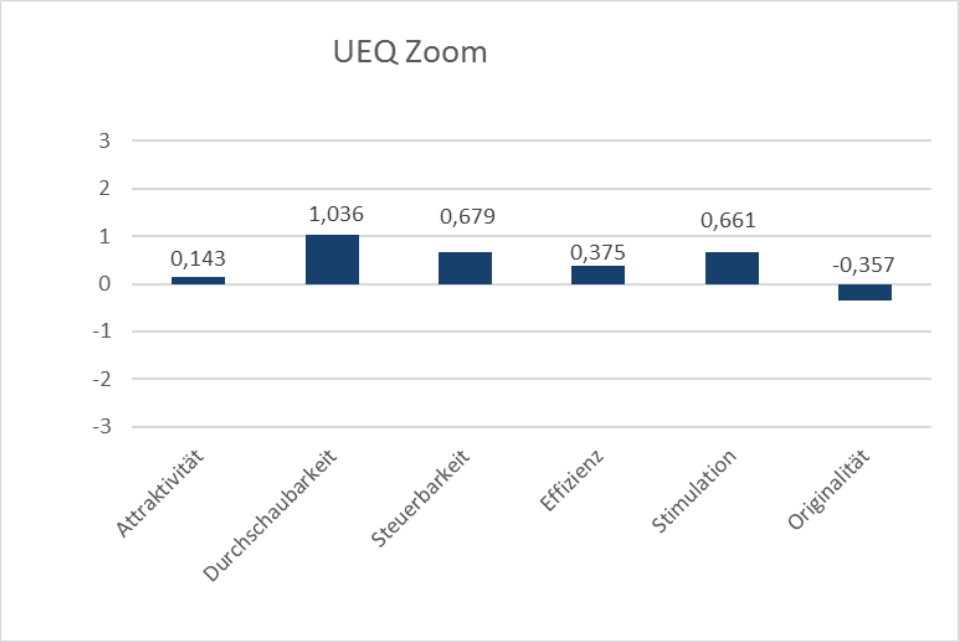


*Abbildung 27.* Mittelwerte, Bewertung der „Zoom"-Geste, Studie 2 ($N$ = 14).

Das Selektions-Auswahlprinzip, sowie die „Zoom"-Geste wurden als gut erlernbar und vor allem als gut steuerbar bewertet. Beide Gesten erreichten einen negativen Score für die Dimension „Originalität", was wir auf die allgemeine Bekanntheit der Konzepte aus anderen Anwendungen zurückführen und damit positiv interpretieren. Auffällig ist der vergleichsweise geringe Score für Attraktivität der „Zoom"-Geste. Dies hängt möglicherweise mit der Verwendung visueller Interaktionselemente („Anfasser") zusammen, die für die Evaluation nicht nach visuell-ästhetischen Ansprüchen gestaltet wurden. Weiterhin zeigt sich in der qualitativen Analyse, dass sich insbesondere die Experten eher die Verwendung einer einfachen, einhändigen „Pinch"-Geste, wie sie von Multitouch-Geräten bekannt ist, gewünscht hätten. Wir halten dieses Prinzip ebenfalls für vielsprechend, leider war aufgrund des Standes der technischen Entwicklung der Leap-Treiber zum Zeitpunkt der Studie keine befriedigende Implementierung möglich. Dies ändert sich mit dem Release des „Orion-Treiber" (s. 3.1.).

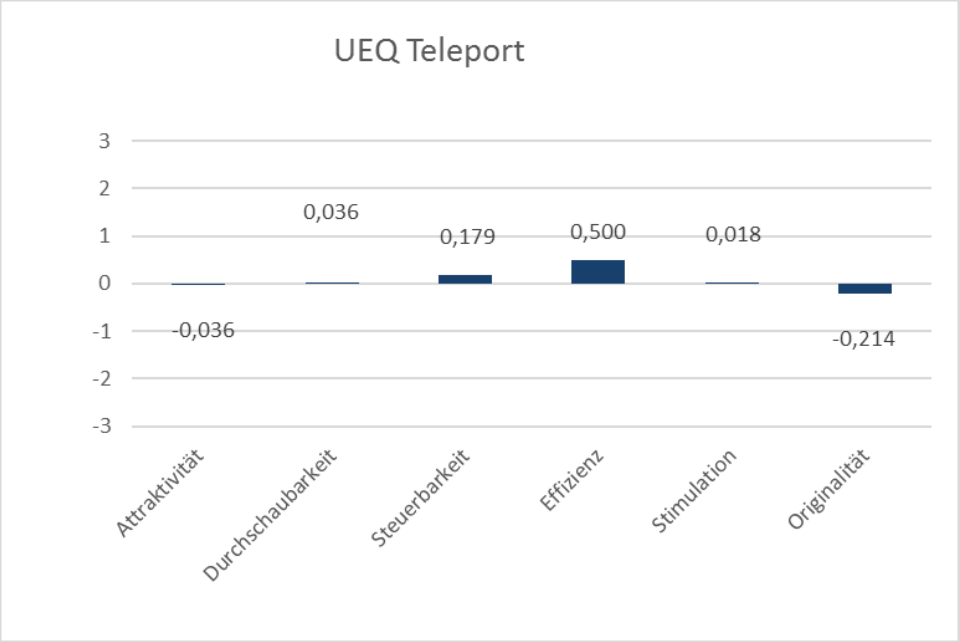


*Abbildung 28.* Mittelwerte, Bewertung der „Teleport"-Geste, Studie 2 ($N$ = 14).

Die geringsten Werte im UEQ erreichte das Teleportationssystem, insbesondere zu beachten sind die negativen Werte von Attraktivität und Originalität. Da es sich bei diesem Bewegungsparadigma um ein vielfach verwendetes handelt, sind diese Ergebnisse überraschend. Aus der qualitativen Analyse leiten wir jedoch ab, dass diese vergleichsweise negative Bewertung in erster Linie aus der nicht optimalen Umsetzung des Prinzips in der Testumgebung resultiert. Die zurückgelegte Distanz war sehr gering und die Probanden fühlten sich schnell orientierungslos, da der Raum wenig visuelle Anhaltspunkte über den Standpunkt des Betrachters bietet. Weiterhin wurde als Marker für den Teleportationspunkt nur ein einfaches Objekt verwendet, welches visuell nicht aufbereitet und damit nicht als besonderes Interaktionselement zu erkennen war. Wir halten folglich grundsätzlich an diesem Bewegungskonzept fest, schlagen jedoch eine spezielle Abwandlung vor, die wir im folgenden Abschnitt näher erläutern.

### 3.3.3. Qualitative Analyse der Virtual Reality Experience

In der qualitativen Analyse wurde allgemein die Möglichkeit zur Steuerung mit den Händen über Gesten und die damit verbundene direkte Manipulation der virtuellen Welt positiv hervorgehoben, die als intuitiv und spaßig empfunden wurde. Konkreter wurden insbesondere die Gesten zum Öffnen und Schließen des Menüs, sowie das Menü selbst positiv bewertet (Studie 2). Auch der Laserpointer wurde mehrfach positiv erwähnt. In beiden Studien empfanden alle Probanden die technisch bedingten Schwierigkeiten in der Erkennung der Gesten als negativ und äußerten ihre daraus resultierende Frustration. Ein Proband berichtete von stärkeren Ermüdungserscheinungen in den Armen.
Das Feedback der Experten war vielfältig und reichte (in Einzelnennungen) von der Gestaltung des virtuellen Raumes bis zu detaillierten Anpassungen einzelner Gesten. Mehrfach kritisiert wurde jedoch das Bewegungskonzept der Teleportation, dieses wurde vor allem als „unklar", „altmodisch" und „nicht realistisch" beschreiben. Wir führen diese Bewertung auf die Tatsache

zurück, dass die Bewegung innerhalb des Raumes nur vom Start zu einem zweiten Punkt möglich war. Obendrein bietet der virtuelle Testraum wenig visuelle Ankerpunkte zur Orientierung und die zurück gelegten Distanzen sind sehr gering. Ist dies nicht zu verändern, empfehlen wir unter Bezugnahme auf die Gespräche mit der Expertengruppe ein Bewegungsparadigma, welches wir „Rail Movement" nennen. Das Konzept mit speziellen Objekten, die die gewünschte Zielposition markieren, zu interagieren um sich dorthin zu bewegen beleibt dabei bestehen. Allerdings wird nach der Auswahl eines solchen Objekts kein Fade out/Fade in ausgelöst, sondern eine langsame und kontinuierliche Vorwärtsbewegung ihn Richtung des Objekts. Dies hat den Vorteil, dass der Nutzer die Orientierung im Raum nicht verliert. Eine langsame und sanfte Bewegung ist außerdem notwendig, um Cybersickness zu vermeiden.
Die einzelnen Gesten wurden insgesamt positiv von den Experten bewertet. Lediglich die Rotations-Geste erhielt mehrfach Kritik. Hier regten die Experten eine bessere Synchronisation zwischen der Rotationsgeschwindigkeit des Objekts und dem Durchmesser der Rotationsbewegung an. So könnte beispielsweise ein geringer Durchmesser in der Bewegung eine schnelle Bewegung des Objekts, ein großer Durchmesser eine langsame Rotation zur Folge haben. Alternativ wäre eine 1 zu 1 Zuordnung
(Rotationsgeschwindigkeit des Fingers = Rotationsgeschwindigkeit des Objekts) denkbar.

### 3.3.4. Präsenzerleben

Um eine Vorstellung vom Präsenzerleben der Probanden bekommen zu können, wurde der Igroup Presence Questionnaire (IPQ) eingesetzt. Die Antworten auf die einzelnen Items können zu den drei Dimensionen „Spatial Presence", „Involvement" und „Expected Realism" zusammengefasst werden. Das folgende Diagramm (Abb. 29) zeigt die Werte, die die Testumgebung für diese Dimensionen in beiden Studien erreicht hat. Diese Darstellung ist insbesondere deshalb interessant, da hier verschiedene Umgebungen oder Sets von Gesten auch visuell gut vergleichbar gemacht werden. Im Hinblick auf Folgestudien erscheint diese Methode vielversprechend. Es lässt sich erkennen, dass in dieser Studie hohe Werte besonders bei „Spatial Presence" (Studie 1: $M$ = 3.73, $SD$ = 1.02, Studie 2: $M$ = 3,60, $SD$ = .51) und „Involvement" (Studie 1: $M$ = 3.38, $SD$ = .74, Studie 2: $M$ = 4.05, $SD$ = .44) erreicht werden. Die verwendete Skala reicht von 0 („gar nicht") bis 6 („sehr stark).

Vergleicht man die Werte aus der ersten und zweiten Studie, so lässt sich deutlich erkennen, dass der Mittelwert für „Spatial Presence" nahezu gleichgeblieben ist (es konnte keine statistisch signifikante Abweichung festgestellt werden), es aber stärkere Abweichungen in den Dimensionen „Expected Realism" und „Involvement" zwischen den zwei Studien gibt. In der zweiten Studie erreichte die Dimension „Expected Realism" im Durchschnitt fast eine Stufe mehr ($M$ = 2.98, $SD$ = .88) als in Studie 1 ($M$ = 2.05, $SD$ = .38). Der Unterschied zwischen diesen Mittelwerten wurde mittels eines Mann-Whitney U-Tests positiv auf statistische Signifikanz geprüft ($U$ = 34.5, $p$ = .001). Auch der Mittelwert für „Involvement" lag in Studie 2 höher; auch hier lieferte der Mann-Whitney U-Test ein signifikantes Ergebnis ($U$ = 50.0, $p$ = .009.)

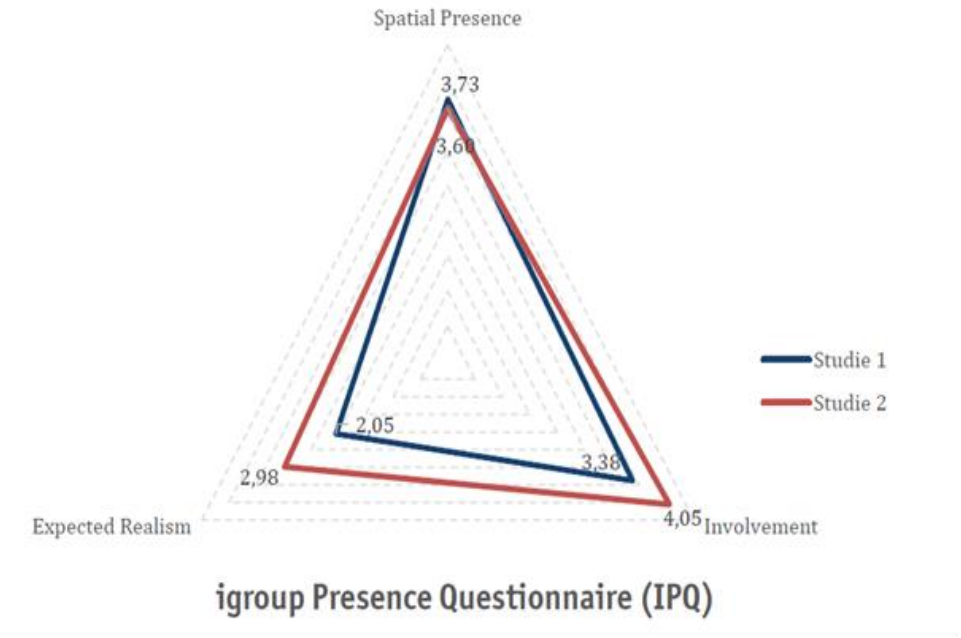


*Abbildung 29.* Mittelwerte der drei Dimensionen des IPQ.

*„Am besten hat mir gefallen, mit einer Welt zu interagieren, in der man nur mit dem gesamten Bewusstsein und nicht wirklich körperlich anwesend ist. Es fühlte sich sehr echt an, da man aus jeder Position den Raum sehen konnte."*

Der IPQ erhebt außerdem einen generellen Wert für das Präsenzerleben („being there"). Dieser erreichte in der ersten untersuchten Stichprobe einen Mittelwert von $M = 3.5$ ($SD = 1.67$) und für die zweite Stichprobe $M = 5.14$ ($SD = 1.35$), wie in Abbildung 30 dargestellt. Rechnerisch liegen die errechneten Werte für das Präsenzerleben im mittleren bis oberen Bereich. Vor dem Hintergrund der sehr einfachen virtuellen Welt, der starken Einschränkung in den Interaktionsmöglichkeiten, die über die Erfüllung der Aufgaben hinausging (die Probanden konnten sich in der Umgebung nicht frei bewegen) und den bereits angesprochenen technischen Restriktionen, ist dieses Ergebnis durchaus als positiv zu bewerten.
Auch die Mittelwertdifferenz ist laut Mann-Whitney U-Test statistisch signifikant ($U = 47.5$, $p = .006$).

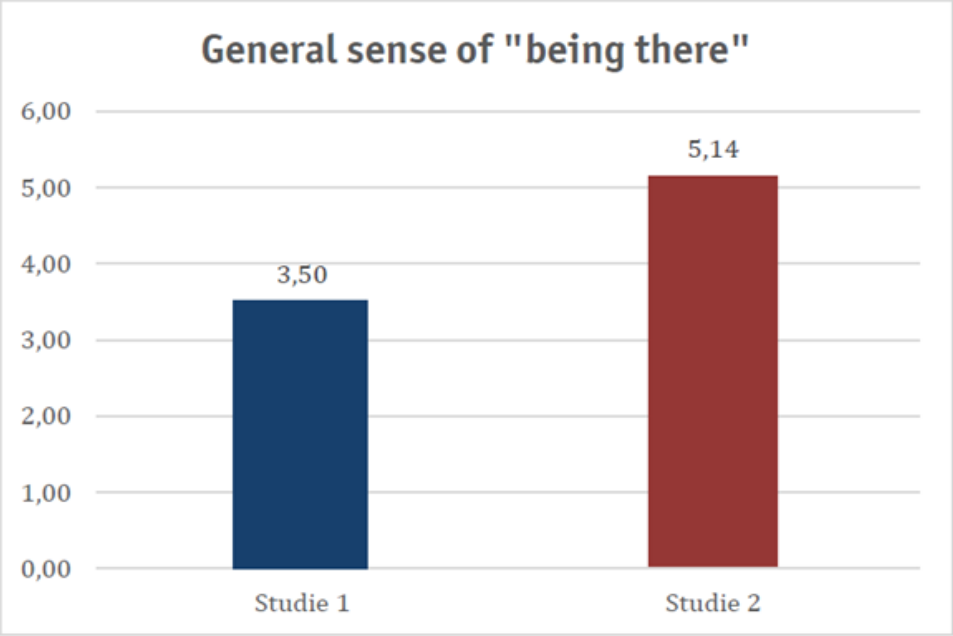


*Abbildung 30.* Vergleich beider Studien bzgl. des Präsenzerlebens.

Wir führen dies, unter Bezugnahme auf die Ergebnisse der qualitativen Analyse, auf die Abbildung der eigenen Hände in der virtuellen Welt zurück. Die Tatsache, dass die eigenen Hände in der virtuellen Welt sichtbar werden, wenngleich diese auch stark abstrahiert dargestellt wurden, wurde von vielen Probanden explizit positiv hervorgehoben und als sehr natürlich beschrieben. Dennoch gaben zwei Probanden an, dass Sie sich eine menschlichere Darstellung der Hände wünschen würden.

*„Bessere wäre es, die Hände etwas menschlicher zu gestalten und dafür zu sorgen, dass die Bewegung richtig aufgenommen wird."*

Eine Probandin wünschte sich explizit kleinere virtuelle Hände, um die Software besser bedienen zu können. Dazu ist anzumerken, dass die Probandin selbst von recht zierlichem Wuchs war und entsprechend sehr kleine und zarte Hände besaß. Dennoch gibt dieser Punkt Anlass zur Annahme, dass die Immersion und die wahrgenommene Einfachheit der Interaktion noch stärker gesteigert werden können, wenn die individuelle Handgröße visuell berücksichtigt wird.

Ausgehend von den Ergebnissen der qualitativen Erhebung und den Erkenntnissen aus Studie 1 gehend sehen wir unsere Annahme bestätigt, dass die Abbildung der Hände in der virtuellen Umgebung maßgeblich für das positive Präsenzempfinden ist. Weiterhin wurden mit der Überarbeitung des Menüs und der „Zoom"-Geste zwei größere potenzielle Fehlerquellen aus dem ersten Durchlauf eliminiert und die Interaktion wesentlich verbessert. Die Verbesserung der Werte von Studie 2 gegenüber Studie 1 erklären wir außerdem damit, dass die Stichprobe insgesamt über eine höhere VR-Expertise besaß und entsprechend mit realistischeren Erwartungen in den Test ging. Während VR-Novizen von der recht einfach gehaltenen Welt möglicherweise enttäuscht sind, wissen VR-Experten diese eher zu schätzen.

# 4. Bewertung des Leap Motion Treibers „Orion“

Wie in Kapitel 2.2 beschrieben, führte die technische Unausgereiftheit des ersten Leap Motion Treibers zu einigen Problemen bei der Handerkennung und damit zu einem positiven Nutzererleben. Nach der Durchführung der zweiten Testphase veröffentlichten die Hersteller der Leap Motion ein neues umfangreiches Treiberpaket. Der neue Treiber umfasst einige Verbesserungen der Erfassung und Virtualisierung der Hände des Nutzers. So wurde das Tracking allgemein verbessert, speziell soll eine höhere Verlässlichkeit erreicht werden. Vor allem soll das System besser mit verdeckten Oberflächen zu Recht kommen. Aus den bisher gewonnenen Erfahrungen kann man entnehmen, dass eine Verdeckung von Fingern einer der Hauptursachen für eine fehlerhafte Erkennung darstellt.
Dazu sollen Störfaktoren besser ausgeblendet werden, als es bisher der Fall war. Der Leap Motion Sensor erzielte in verschiedenen Umgebungen meist stark unterschiedliche Ergebnisse. Dies liegt vor allem an den stark schwankenden Lichtbedingungen und Reflexionen von Gegenständen im Umfeld des Sensors. Der neue Treiber soll sich nun als robuster gegenüber diesen Störfaktoren erweisen und so weitere Fehlerquellen eliminieren. Des Weiteren soll die effektive Reichweite des Sensors verbessert worden sein. Es ist nun möglich, die Hände weiter vom Körper auszustrecken, ohne dass es zu einem fehlerhaften Tracking führt. Gerade für den Einsatz in der VR ist dies ein großer Schritt und eine notwendige Bedingung für einen ernsthaften, verlässlichen Einsatz der Software. Es ist jedoch zu beachten, dass diese Neuerungen nicht zu einer vollständigen Fehlerfreiheit der Erkennung führen. Dennoch ist tatsächliche eine starke Verbesserung feststellbar. Außerdem hat der Entwickler intensiv an einer Verbesserung der Erkennung von „Grab“ und „Pinch“-Gesten gearbeitet. Diese Gesten sind besonders nützlich. Vor allem in der Interaktion mit Objekten in einer virtuellen Umgebung können sie effektiv genutzt werden. Leap zeigt in Demos des Öfteren eine Testumgebung, in der ein VR-Spieler mit seinen Händen Würfel verschiedener Größe skaliert und bewegt in dem er diese beiden Gesten nutzt. Diese Gesten sind intuitiv und nun auch verlässlicher nutzbar. Der Hersteller gibt zusätzlich an, dass Hände nun viel schneller erkannt werden und die Latenz stark verringert wurde. Es ist aber zu überprüfen, wie substanziell diese Verbesserungen tatsächlich sind, da ausschließlich Anpassungen auf Softwareebene vorgenommen worden sind und der Sensor selbst nicht überarbeitet wurde.
Die Anwendungen und der Visualizer lassen eine spürbare Verbesserung des Trackings feststellen. Es kommen deutlich weniger Fehler auf und der Anwender kann tatsächlich tiefer in den Raum greifen. Es ist jedoch anzumerken, dass die mitgelieferten Beispielanwendungen lediglich einfache Demos darstellen und meistens nur eine Interaktion mit 3D-Objekten innerhalb eines offenen Playgrounds ermöglichen. „Pinch“ und „Grab“ funktionieren zuverlässig. Die Hände sind stabiler, dennoch existieren immer noch die gleichen Fehler, welche auch zur Zeit unserer Tests vorgekommen sind. Die Auftrittshäufigkeit hat sich jedoch stark verringert.
Die Integration des Orion Treibers erfordert leider mehr als nur ein Update. Die Leap-Bibliothek wurde für den neuen Treiber angepasst und an vielen Stellen vollständig überarbeitet. Das gleiche gilt für die nötigen Assets zur Integration in Unity. Sie unterscheiden sich in Struktur und Umfang. So existiert nur noch das geometrische Handmodel, welches auch im Visualizer verwendet wird. Die Scripting API ist ebenfalls verändert worden. Alle nativen Gesten wurden entfernt und an manchen Stellen wurden wichtige Methoden und Funktionen gekürzt oder entfernt. Dies führt unter anderem dazu, dass unser Code teilweise nicht mehr

funktioniert. Es ist anzunehmen, dass hier ein mittlerer Arbeitsaufwand nötig ist, um eine Portierung zu ermöglichen. Dazu kommt die Zeit für eine Neu-Interpretation der ehemals nativen „Circle"-Gesture. Leider ist die Dokumentation der neuen API zu diesem Zeitpunkt unvollständig und fehlerhaft. Dies erschwert eine schnelle Portierung zum jetzigen Zeitpunkt zusätzlich.
Der Orion Treiber ist ein Schritt in die richtige Richtung und bringt die Leap ein Stück näher daran ein zuverlässiger Sensor zum Tracking der Hände und eine echte Alternative zu einer Steuerung innerhalb von VR-Anwendungen zu sein. Doch auch der Orion Treiber kann viele Fehler nicht eliminieren und so bleibt es abzuwarten, wie der Hersteller in Zukunft weitere Verbesserungen vornehmen will.

# 5. Fazit

Über die fast einjährige Projektlaufzeit hat sich das Thema Virtual Reality stetig weiterentwickelt und ist nun, in 2016 an einem entscheidenden Punkt angelangt. Seit kurzer Zeit ist die Oculus Rift in der Version für Endkunden verfügbar und einem breiten Publikum zugänglich, ebenso ist die HTC Vive auf dem Markt erhältlich. Die Samsung Gear VR hat sich zum Quasi-Standard im Bereich mobile VR entwickelt und wird bereits breit in der Öffentlichkeit beworben. Umso wichtiger ist nun, dass Unternehmen innovative und ausgereifte VR-Applikationen entwickeln, um den technologischen Fortschritt voranzutreiben. Angesichts der aktuell dennoch geringen Verbreitung von VR ist es für den Erfolg einer VR-Applikation unerlässlich, dass ein natürliches und intuitives Interaktionskonzept, dass auch für VR-Novizen leicht erlernbar ist, integriert wird. Aus diesem Grund war es Ziel des FuE-Projekts, die Möglichkeiten handgestenbasierter Interaktion in VR zu explorieren und ein Set von Gesten für die Steuerung von VR Produktiv-Software zu konzipieren, zu implementieren und dann anhand von Nutzerstudien zu evaluieren. Trotz der Herausforderungen, die die Arbeit mit noch in der Entwicklung befindlicher Technologie mit sich bringt (Unausgereiftheit des Sensors, Treiberupdates der verwendeten VR-Hardware, Unzulängliche Systemvoraussetzungen, etc.), wurde dieses Ziel erreicht. Ergebnis des Projekts ist neben einem umfangreichen, wissenschaftlich fundierten und empirisch validierten Interaktionsdesign, eine vollständige Programmbibliothek für die Erkennung der entsprechenden Gesten zur Integration in Unity. Es wurde darauf geachtet die Softwarestruktur modular zu gestalten um in der Zukunft auch andere Sensoren abseits der Leap Motion zu unterstützen. Die Grundidee ist, dass verschiedene Softwaremodule in der Lage sind Gesten zu erkennen und diese bei einer einzigen Instanz eines Softwaremoduls (einer sogenannten Boilerplate) anzumelden, welches die gewünschten Funktionen auf die empfangenen Gesten abbildet.
Unsere Nutzerstudien zeigen, dass die Möglichkeit zur Interaktion und Manipulation der virtuellen Objekte durch die eigenen Hände maßgeblich zur positiven VR Experience beiträgt, wenngleich sie die Entwicklung eines zuverlässigen Systems herausfordernder gestaltet. Die Ergebnisse der Evaluationsstudie brachten gute Erkenntnisse darüber, wie potenzielle zukünftige Nutzer mit dem System umgehen und die gestenbasierte Steuerung empfinden. Der praktische Einsatz der Systems und insbesondere der Leap Motion zeigte einige technische Schwachstellen der verwendeten Technologie auf. Das häufigste Problem ist die fehlerhafte Erkennung der Finger und somit die asynchrone Darstellung der virtuellen Hände in Bezug auf die realen Hände des Benutzers. Dies hatte weiter zur Folge, dass Gesten häufig nicht richtig

erkannt wurden, obwohl die Benutzer diese korrekt ausgeführt hatten. Dies führte häufig zu einem hohen Maß an Frustration, welche potenziell auf die Applikation übertragen werden könnte. Dies impliziert für die Integration in eine VR Applikation, dass die Gestenerkennung zuverlässig funktionieren muss und gegebenenfalls automatisierte Hilfestellungen angeboten werden sollten. Es ist jedoch anzumerken, dass die Erkenntnisse der vorliegenden Projektarbeit sich auf frühere Versionen der Leap Motion Treiber beziehen. Mit dem Release des Orion-Treibers kurz vor Ende des Projekts wurden einige vielversprechende Verbesserungen realisiert, so dass nun von einer wesentlich genaueren und fehlerunanfälligeren Erkennung der Hände ausgegangen werden kann.

Das Thema VR Interaction Design wird auch in Zukunft Wirtschaft und Wissenschaft beschäftigen, dazu gab das besagte Projekt einen hervorragenden ersten Impuls. Dieser Projekbericht dient neben der Bereitstellung der Projektergebnisse für eine breite Öffentlichkeit außerdem als Handlungsleitfaden für einen systematischen und empirisch fundierten VR Interaction Design-Prozess.

# Kontakt

**Universität Duisburg-Essen**

Fakultät für Ingenieurwissenschaften
Abteilung für Informatik und Angewandte Kognitionswissenschaft
Lehrstuhl für Medieninformatik | Entertainment Computing

http://www.ecg.uni-due.de

*Ansprechpartner*

**Prof. Dr. Maic Masuch**
Forsthausweg 2
47057 Duisburg

E-Mail: maic.masuch@uni-due.de
Phone: +49 (0) 203 379-1341
Fax: +49 (0) 203 379-4476

**Stefan Liszio, M.Sc.**
Forsthausweg 2
47057 Duisburg

E-Mail: stefan.liszio@uni-due.de
Phone: +49 (0) 203 379-2440
Fax: +49 (0) 203 379-4476